Druksensoren

Op dit moment is er een aantal vrij goedkope sensoren op de markt waarmee u op een eenvoudige manier de grootte van de luchtdruk kunt meten. In dit artikel leest u hoe deze 'aneroide' sensoren werken en hoe u deze kunt toepassen.

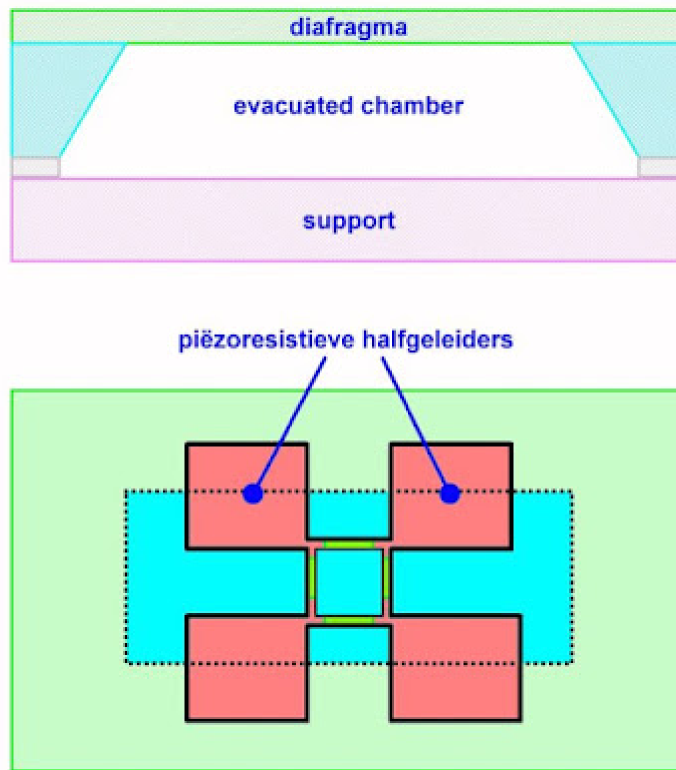
Auteur: Jos Verstraten, Landgraaf, Nederland
Email: josverstraten@live.nl
Publicatiedatum: 21-07-2022

Werkingsprincipe van druksensoren

Het piëzoresistieve effect
Het basisprincipe van een elektronische druksensor berust op het zogenaamde *'piëzoresistieve effect'*. Men heeft vastgesteld dat in sommige zeldzame metalen en halfgeleiders de mobiliteit en de concentratie van vrije ladingsdragers voor een deel afhankelijk is van de druk die op het materiaal wordt uitgeoefend. Hoe minder vrije ladingsdragers er aanwezig zijn en hoe minder mobiel die zijn, hoe hoger de soortelijke weerstand van het materiaal. Er bestaat dus een bepaald verband tussen de druk die op een plaatje van een dergelijk materiaal wordt uitgeoefend en de weerstand die u tussen de twee aansluitingen van het plaatje kunt meten. Dit verschijnsel wordt het piëzoresitieve effect genoemd.

Atomaire energiedrempels
In halfgeleiders valt dit verschijnsel te verklaren doordat onder verhoogde druk de energiedrempels in de atomen variëren. De druk zorgt er immers voor dat het materiaal een beetje wordt samengedrukt of uitgerekt. De invloed van de druk is dus in feite terug te vinden onder de vorm van een minimale afmetingsvariatie van het materiaal.
Afhankelijk van het soort halfgeleidermateriaal en de stof waarmee deze halfgeleider verontreinigd werd kunt u vaststellen dat de weerstand stijgt of daalt als de druk wordt vergroot.
De K-factor
De mate van weerstandsverandering in functie van de drukverandering wordt uitgedrukt door de zogenaamde K-factor. Deze wordt gedefinieerd als de relatieve weerstandsverandering $\Delta R/R$ ten opzichte van de relatieve lengteverandering $\Delta L/L$.
Bij halfgeleidende materialen treft u K-factoren aan tussen 50 en 100, terwijl deze voor zuiver metallische materialen rond 2 liggen. Het zal dus duidelijk zijn dat men bij voorkeur werkt met halfgeleiders, omdat deze veel gevoeliger zijn.

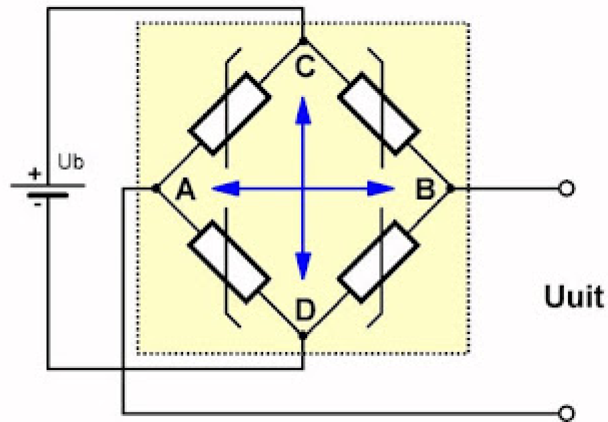
De samenstelling van een druksensor
De principiële opbouw van een druksensor is getekend in de onderstaande figuur. Een klein, rechthoekig kamertje (*evacuated chamber*) is aan de onderzijde afgedicht met een starre plaat (*support*) en aan de bovenzijde met een *diafragma*. Dat diafragma bestaat uit een zeer dun plaatje silicium, waarop vier piëzoresitieve halfgeleiders zijn aangebracht. Uit het bovenaanzicht (onder) blijkt hoe deze vier onderdelen op het diafragma zijn geëtst. Het diafragma is zeer dun, zo dun dat u van een membraan kunt spreken. Het zal duidelijk zijn dat dit membraan gaat vervormen als er op de bovenzijde een druk wordt uitgeoefend die verschilt van de druk in het kamertje.



De principiële samenstelling van een elektronische druksensor.
(© 2019 Jos Verstraten)

Als de druk aan de bovenzijde groter is dan deze in de kamer, dan zal het membraan hol gaan staan. Is de druk boven echter kleiner dan de druk in de kamer, dan zal het membraan bol gaan staan. Deze vervormingen van het membraan worden door de speciale constructie van het diafragma overgebracht op de vier piëzoresistieve halfgeleiders. Ook deze gaan dus vervormen, met als logisch gevolg dat hun weerstand toe- of afneemt. Omdat de kamer niet vierkant is, maar rechthoekig, zullen niet alle vier de halfgeleiders even veel vervormd worden. De verbuiging in de lengterichting is immers groter dan in de breedterichting, eenvoudig omdat de kamer veel langer is dan zij breed is.
Overigens is het kamertje zeer klein. Bij de KP100A bijvoorbeeld, een druksensor die door Philips werd ontwikkeld, bedragen de afmetingen van het kamertje slechts 1,2 mm bij 2,4 mm

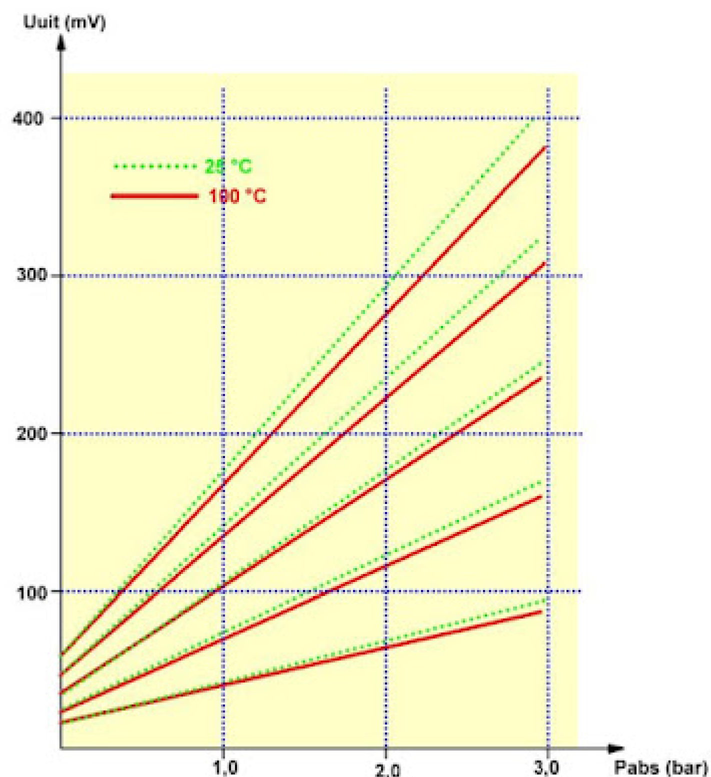
De elektrische schakeling
De piëzoresistieve weerstanden zijn elektrisch met elkaar verbonden als brug van Wheatstone, zie de onderstaande figuur. De vier piëzoresistieve halfgeleiders zijn in een vierkant geschakeld, net zoals de vier dioden van een bruggelijkrichter. Over één diagonaal C-D van deze brug moet u een voedingsspanning U_b aansluiten. Als alle vier de weerstanden even groot zouden zijn, dan zouden er over alle weerstanden even grote spanningen vallen. De twee overige hoekpunten van de brug zouden dan spanningen voeren van precies ½U_b. Tussen de tweede diagonaal A-B zou geen spanningsverschil staan.
Als echter de weerstanden van waarde verschillen doordat het diafragma vervormd, dan zal aan deze spanningsgelijkheid niet langer voldaan worden. Afhankelijk van de verhouding tussen de linker en de rechter weerstanden van de brug zal er tussen de punten A en B een kleine verschilspanning ontstaan. Het is nu deze spanning die de uitgangsspanning U_{uit} van de sensor vormt en die een maat is voor de grootte van de druk die op het diafragma wordt uitgeoefend.



De elektrische schakeling rond de vier elementen in de druksensor.
(© 2019 Jos Verstraten)

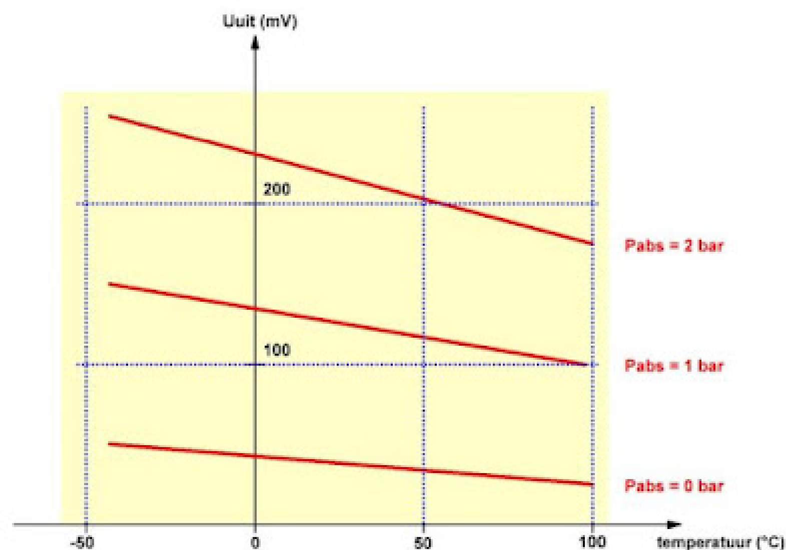
De eigenschappen van druksensoren

De transferkarakteristiek van een druksensor
Het verband tussen de verschilspanning tussen de punten A en B van de brug en de absolute druk die op het diafragma wordt uitgeoefend is getekend in de onderstaande figuur. In deze karakteristiek is een grafiekenbundel getekend, die de verschilspanning tussen de punten A en B geeft in functie van de voedingsspanning en de temperatuur van de brug. Hoewel het lijkt alsof de sensor vrij gevoelig is met een spanningsbereik tussen 100 mV en 400 mV moet u toch bedenken dat dit geldt voor een drukbereik van 3 bar. Een en ander komt overeen met een gevoeligheid van 0,3 mV per mB of hPa (hectopascal). De luchtdruk varieert tussen de grenzen 940 hPa en 1.060 hPa, zodat een sensor over dit volledige bereik een uitgangsspanningsverschil van slechts 36 mV levert.



De transferkarakteristiek van piëzoresistieve druksensoren.
(© 2019 Jos Verstraten)

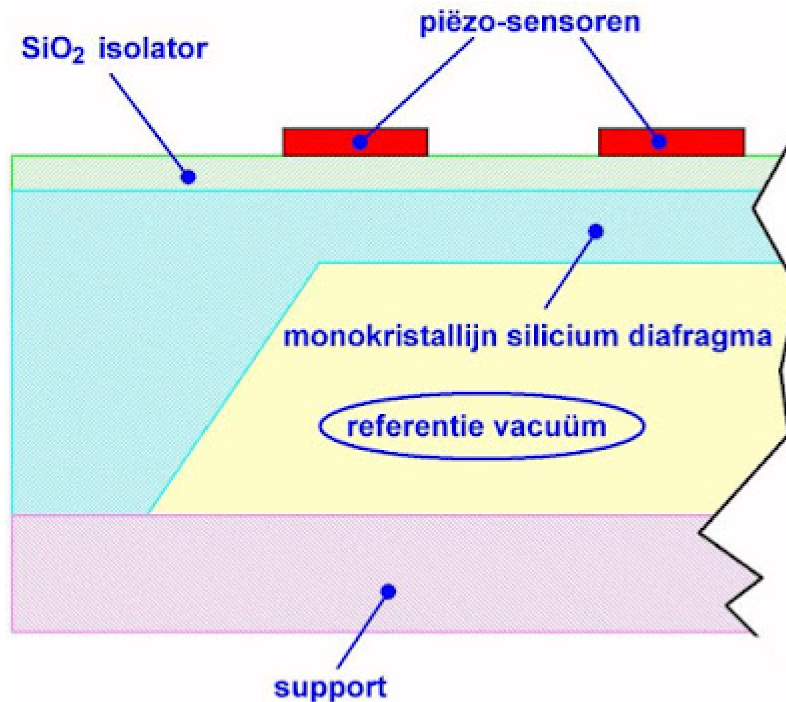
De temperatuurcoëfficiënt
Een tweede belangrijke eigenschap die u uit de grafiek kunt afleiden is dat de transferkarakteristiek van de druksensor temperatuurgevoelig is. Dat is natuurlijk niet verwonderlijk. Op de eerste plaats heeft de temperatuur ook een krimpen of uitzetten van de materie tot gevolg, zodat een temperatuurverschil van invloed zal zijn op de vervorming van het diafragma. Op de tweede plaats hebben de piëzoresistieve halfgeleiders natuurlijk ook een temperatuurcoëfficiënt die de brugschakeling beïnvloedt.
Als u de grafieken op een iets andere manier tekent, zodat de invloed van de temperatuur veel duidelijker zichtbaar wordt, dan ontstaat het plaatje van de onderstaande figuur. Hieruit blijkt zonder meer dat u de temperatuurinvloed op de werking van een sensor niet kunt negeren.



De invloed van de temperatuur op de transferkarakteristiek.
(© 2019 Jos Verstraten)

Gecompenseerde druksensoren
De tot nu toe beschreven sensoren noemt men dan ook ongecompenseerde sensoren. Er zijn echter ook sensoren in de handel die voorzien zijn van een ingebouwde temperatuurcompensatie. Deze worden in een volgende paragraaf besproken.

Het temperatuurbereik
Het gebruik van silicium als materiaal voor het diafragma en drager voor de piëzoresistieve elementen heeft een groot nadeel. Boven de 100 °C zullen er lekstromen ontstaan tussen de elementen en de silicium drager, waardoor de lineariteit van de sensor afneemt. Dit is een verschijnsel dat sterk toeneemt als de temperatuur boven deze grens stijgt. Om dit probleem op te lossen heeft men een constructie bedacht waarbij tussen het silicium diafragma en de eigenlijke piëzoresistieve elementen een dunne laag siliciumdioxide SiO_2 wordt aangebracht, zie de onderstaande figuur.
Door deze technologie toe te passen is het mogelijk druksensoren te fabriceren die nog goed werken bij omgevingstemperaturen van +250 °C.



Het vergroten van het temperatuurbereik door het isoleren van de piëzoresistieve elementen van het silicium diafragma. (© 2019 Jos Verstraten)

De hysteresis
Als u de druk op een druksensor langzaam laat stijgen van druk 1 naar druk 2 zal ook de uitgangsspanning stijgen van meetwaarde 1 tot meetwaarde 2. Als u echter nadien de druk weer laat dalen tot druk 1 zult u vaststellen dat de uitgangsspanning niet geheel terug keert naar meetwaarde 1. Dit verschijnsel noemt men de *'hysteresis'* van de sensor. Dit verschijnsel wordt veroorzaakt door de mechanische eigenschappen van het diafragma dat door de interne starheid moeite heeft om na een verbuiging in de ene richting een even grote verbuiging in de andere richting goed te verwerken. Datzelfde verschijnsel doet zich trouwens ook voor bij mechanisch werkende barometers. Als u op een mechanische barometer tikt zult u vaststellen dat de naald met een schokje naar een andere waarde springt en daar blijft staan. Helaas is de hysteresis bij een elektronische druksensor niet op te vangen door er even op te tikken! Maar gelukkig is de hysteresis onvergelijkbaar veel kleiner dan deze van een mechanische druksensor. Een waarde van 0,1 % is bij de meeste exemplaren zonder meer haalbaar, hetgeen in de praktijk te verwaarlozen is.

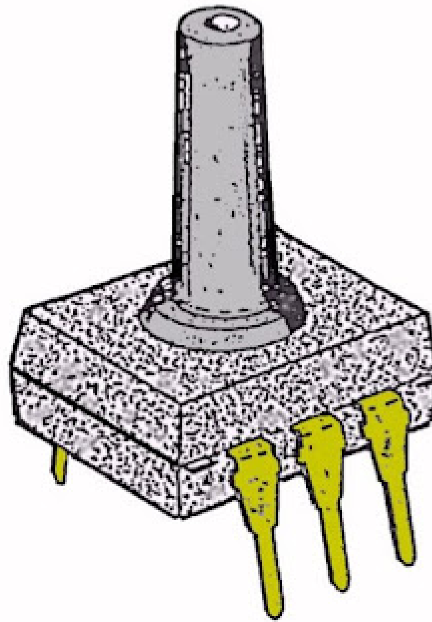
Praktische uitvoeringen van druksensoren

Inleiding
Er bestaan twee verschillende soorten druksensoren:

- De absolute of zogenaamde *'aneroide'* sensoren die de absolute waarde van de luchtdruk meten en bruikbaar zijn in barometers en hoogtemeters.
- De referentie sensoren die de verhouding meten tussen de luchtdruk en de druk van een ander gas en voornamelijk gebruikt worden in de chemische industrie.

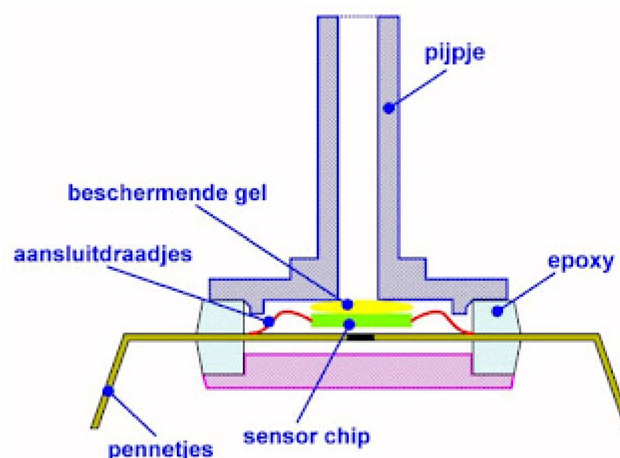
De aneroide sensoren
Het kleine kamertje onder het diafragma is volledig luchtledig, zodat aan de onderzijde van het membraan een druk 0 heerst. De enige drukinvloed op het membraan is deze van de luchtdruk op de bovenzijde. In principe geven deze sensoren een uitgangsspanning af van 0 V als zij in het volledig luchtledige zouden ondergebracht worden. Dan is immers ook de druk aan de bovenzijde van het membraan 0 en wordt het membraan niet vervormd. Dergelijke sensoren hebben meestal een vorm zoals getekend in de onderstaande figuur. De eigenlijke

sensor is aangebracht op een IC-drager, aan de bovenzijde van de behuizing is een klein pijpje aanwezig waarlangs de luchtdruk kan doordringen tot het membraan. Het pijpje zorgt ervoor dat verontreinigingen niet zo gemakkelijk toegang krijgen tot de chip.



De vorm van een aneroide druksensor. (© 2019 Jos Verstraten)

In de onderstaande figuur is een doorsnede door zo'n sensor getekend. De eigenlijke sensor, de *sensing chip*, is aangebracht op het frame dat de aansluitpennetjes van het IC draagt. De piëzoresistieve halfgeleiders worden met dunne gouddraadjes verbonden met de aansluitpennetjes. Boven de chip is een beschermende laag aangebracht van een soort gel, dat het gevoelige oppervlak van de chip beschermt tegen stof dat toch in de loop der jaren via het dunne pijpje in het IC valt.

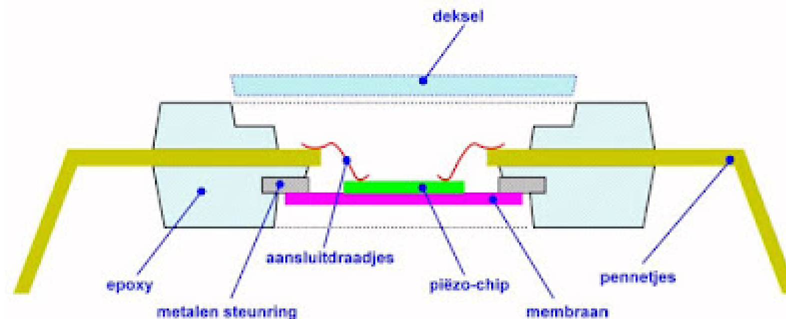


Een doorsnede door een aneroide druksensor. (© 2019 Jos Verstraten)

De referentie sensor

Het tweede soort druksensoren werkt met de luchtdruk als referentie. Deze sensoren meten dus een externe druk en vergelijken deze met de heersende luchtdruk. Het zal duidelijk zijn dat nu het membraan niet over een luchtledig kamertje mag worden aangebracht. In de meeste gevallen hebben deze referentie sensoren een uiterlijk als getekend in de onderstaande figuur. Het membraan met de vier piëzoresistieve elementen is hier aangebracht in een opening in de behuizing. De bovenzijde van de behuizing is afgesloten met een dekseltje, voorzien van een of meerdere openingen. De onderzijde is uiteraard ook open, zodat druk aan weerszijden op het membraan kan inwerken. De te meten druk werkt in op de achterzijde van het membraan, zodat de gevoelige piëzoresistieve elementen niet in

contact staan met het gas waarvan u de druk wilt meten. De sensorzijde is de kant die blootgesteld wordt aan de omgevingslucht. Dank zij deze constructie zijn deze sensoren redelijk bestand tegen agressieve media, zodat zij toegepast kunnen worden in benzinemotoren en chemische processen. Om de chemische bestendigheid nog groter te maken wordt er soms op het silicium membraan een dunne laag koper of edelstaal aangebracht. In de meeste gevallen zijn deze sensoren zo uitgevoerd dat zij stevig over een opening kunnen geschroefd worden dat is aangebracht in de drukkamer waarin het gas zich bevindt waarvan u de druk wilt meten.



Een doorsnede door een referentie sensor. (© 2019 Jos Verstraten)

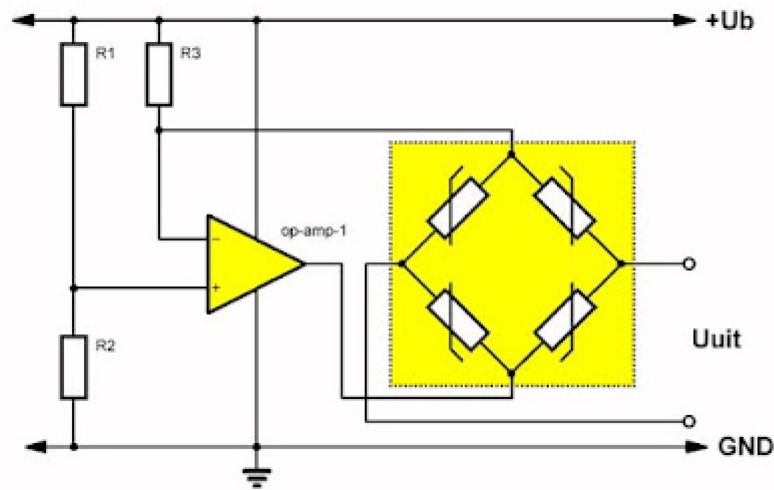
De elektronica rond de sensoren

Voeden met een gelijkspanning

Zoals reeds geschreven moet u één diagonaal van de brug van Wheatstone voeden met een gelijkspanning. Vanwege de zeer lage uitgangsspanning van de sensor worden zeer hoge eisen gesteld aan de stabiliteit van deze voeding. Het nadeel van een voeding uit een constante spanningsbron is echter dat de temperatuurcoëfficiënt van de sensor een extra invloed op de uitgangsspanning uitoefent. Doordat de weerstand van de piëzoresistieve elementen groter of kleiner wordt onder de invloed van de temperatuur zullen de twee stromen die door de twee takken van de brug vloeien ook gaan stijgen of dalen. Het gevolg is dat het spanningsverschil over de tweede diagonaal beïnvloed wordt door deze variërende stromen.

Voeden met een constante stroom

Beter is het de voedingsdiagonaal van de sensor te voeden met een constante stroombron. Als de weerstanden in waarde gaan variëren heeft dit geen invloed op de stroom, maar wel op de spanning. Op deze manier wordt de invloed van de temperatuurcoëfficiënt van de elementen kleiner. Het nadeel van deze methode is echter dat de gevoeligheid van de sensor gaat dalen. U moet dus een compromis zoeken tussen een aanvaardbare temperatuurafhankelijkheid en een aanvaardbare gevoeligheid.
In de onderstaande figuur is het schema getekend van een constante stroombron die u als voeding voor een druksensor kunt gebruiken.

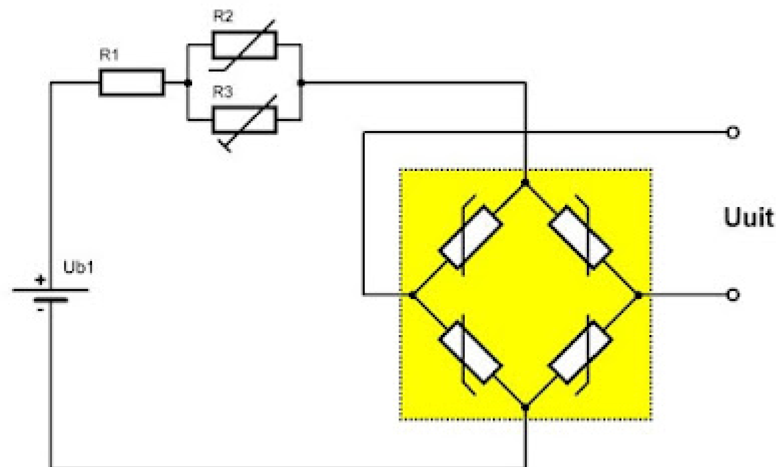


Het voeden van een druksensor met een constante stroombron. (© 2019 Jos Verstraten)

De niet-inverterende ingang van de operationele versterker wordt door middel van een spanningsdeler R1-R2 ingesteld op een constante spanning. Tussen de voeding en de uitgang van de operationele versterker is een tweede spanningsdeler opgenomen, samengesteld uit een vaste weerstand R3 en de voedingsdiagonaal van de sensor. De operationele versterker zal streven naar spanningsgelijkheid op de beide ingangen. Omdat de niet-inverterende ingang op een constante spanning staat, zal ook de inverterende ingang op een constante spanning staan. De stroom die uit de voeding via de weerstand R3 naar de inverterende ingang vloeit kan alleen via de sensor afvloeien naar de uitgang. De waarde van deze stroom wordt dus niet bepaald door de waarde van de sensorweerstand, maar door de waarde van de drie weerstanden aan de ingangen van de operationele versterker. Als u daar zeer stabiele metaalfilmweerstanden voor kiest bent u zeker van een van de temperatuur onafhankelijke stroomsturing van de sensor.

Toepassen van thermistoren

Door gebruik te maken van speciaal geselecteerde thermistoren kunt u toch gebruik maken van een voeding uit een constante spanning. Het schema is getekend in de onderstaande figuur. De temperatuurcoëfficiënt van de thermistor R2 moet tegengesteld zijn aan deze van de sensor. Eventueel kunt u, door de parallelweerstand R3 onder de vorm van een instelpotentiometer uit te voeren, kleine afwijkingen afregelen zodat u het systeem kunt instellen op minimale temperatuurcoëfficiënt.

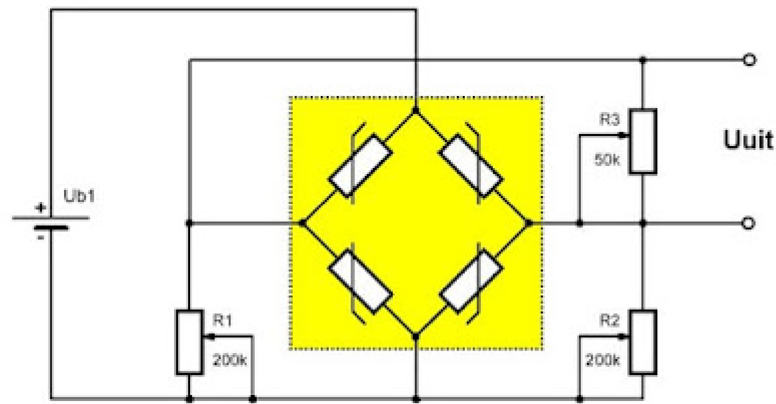


Het compenseren van de temperatuurcoëfficiënt door middel van een thermistor. (© 2019 Jos Verstraten)

Compensatie van de offsetspanning

Een aneroide sensor zou, zoals reeds geschreven, in het absolute luchtledige een

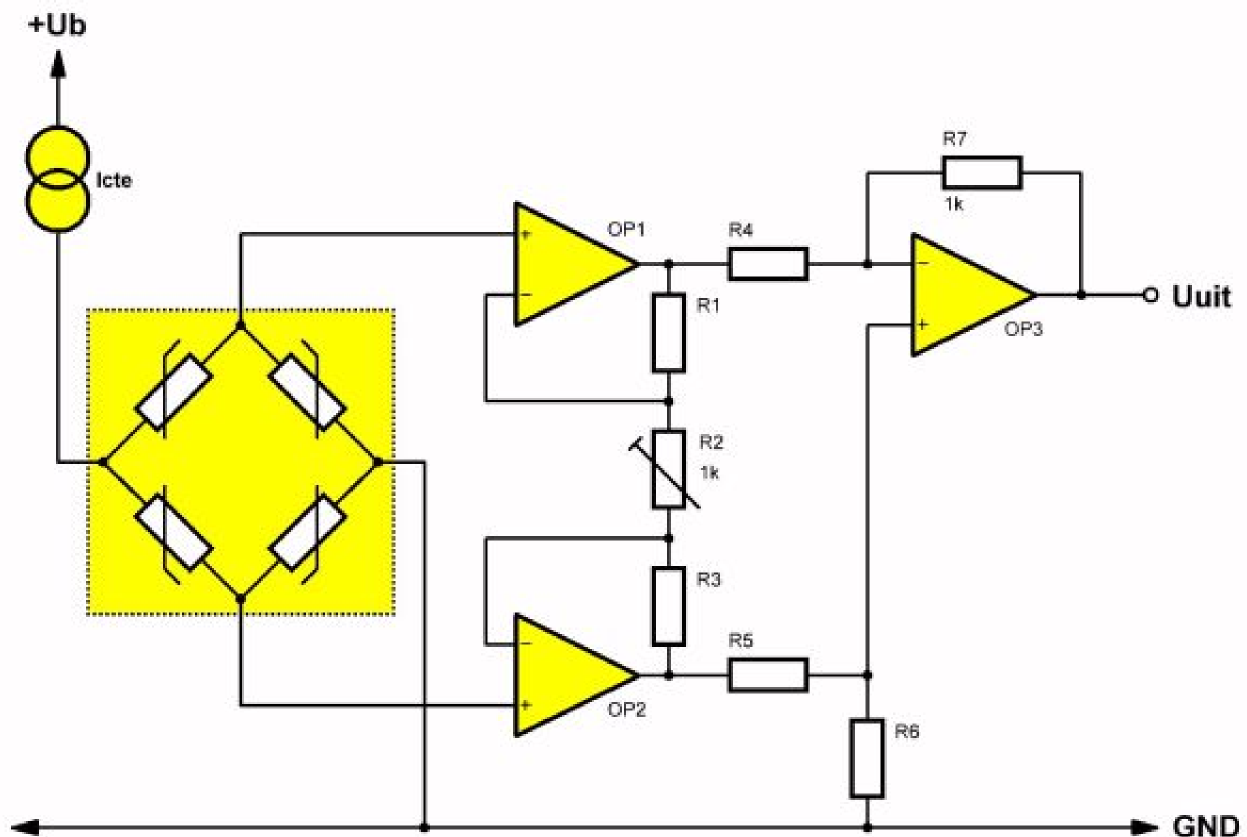
uitgangsspanning van 0 V moeten afleveren. In de praktijk is dit niet het geval, zelfs bij een druk van nul zal de sensor toch een kleine spanning leveren. Dit wordt de *'offset'* genoemd. Hoewel deze omstandigheid in de dagelijkse praktijk natuurlijk nooit zal voorkomen moet u bij zeer nauwkeurige toepassingen de invloed van de offset compenseren. Een bruikbaar schema is getekend in de onderstaande figuur. Naar gelang de polariteit van de offsetspanning geschiedt de regeling met een van de potentiometers R1 of R2. De in de uitgangsdiagonaal opgenomen potentiometer R3 kunt u gebruiken voor het afregelen van de schakeling. Met dit onderdeel kunt u de gevoeligheid van de sensor bijvoorbeeld instellen op 1 mV per hPa, een voorwaarde als u gebruik maakt van een digitale uitlezing.



Het compenseren van de offset op de uitgangsspanning van een aneroide sensor.
(© 2019 Jos Verstraten)

Het versterken van de uitgangsspanning

Zoals reeds geschreven levert een piëzoresistieve druksensor een zeer kleine uitgangsspanning af. Zeker bij het meten van de luchtdruk met zijn beperkt bereik is het absoluut noodzakelijk dat u de uitgangsspanning van de sensor flink versterkt. U moet werken met een gevoelige verschilversterker die het verschil berekent tussen de spanningen op de twee hoeken van de uitgangsdiagonaal en deze kleine verschilspanning versterkt. In de meeste gevallen wordt daarvoor beroep gedaan op een instrumentatie-versterker, waarvan het basisschema is getekend in de onderstaande figuur. De twee eerste trappen OP1 en OP2 vormen de voorversterker. De twee meetpunten gaan ieder naar een eigen op-amp. De versterking van deze trap wordt bepaald door de verhouding van de weerstanden R1 en R3 ten opzichte van R2. Door het afregelen van deze laatste weerstand kunt u de versterking van de trap instellen. Daarmee kunt u de gevoeligheid aanpassen aan het gebruikte meetinstrument.



Met behulp van een instrumentatie-versterker wordt het kleine spanningsverschil over de diagonaal van de sensor versterkt. (© 2019 Jos Verstraten)

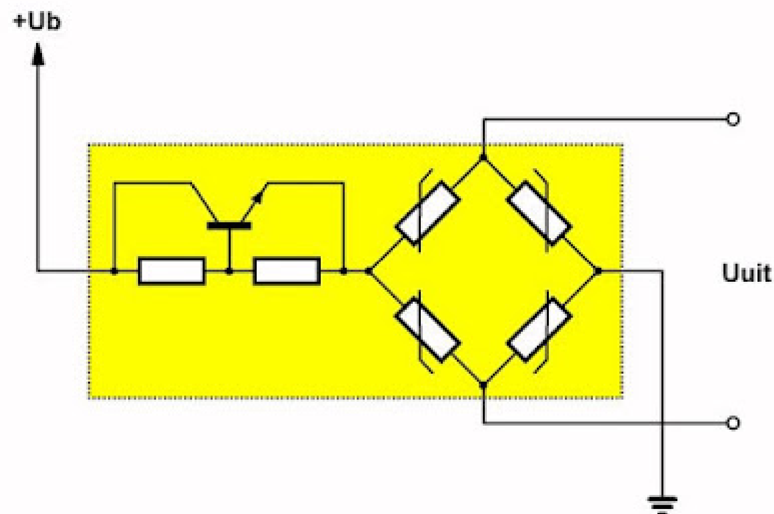
De derde operationele versterker OP3 berekent het spanningsverschil tussen beide uitgangen van de voorgaande operationele versterkers en zorgt er bovendien voor dat u deze verschilspanning ten opzichte van de massa kunt meten. Op deze manier kunt u de versterkte unipolaire spanning verder verwerken met bijvoorbeeld een digitale paneelmeter die de spanning op de uitgang ten opzichte van het massapotentiaal meet.

Gecompenseerde druksensoren

Inleiding
Het grootste nadeel van piëzoresistieve druksensoren is dat zij zeer gevoelig zijn voor de bedrijfstemperatuur van het onderdeel. Omdat dit in de praktijk zeer vervelend is heeft men sensoren ontwikkeld die zijn uitgerust met interne elektronische schakelingen die deze temperatuurafhankelijkheid reduceren. En omdat men dan toch elektronica in de chip aan het integreren is belet niets de fabrikant om naast deze compensatie ook nog eens de instrumentatie-versterker in het IC in te bouwen. Op deze manier ontstaan zeer betrouwbare volledig geïntegreerde meetsystemen die een direct verwerkbare gelijkspanning afleveren die recht evenredig is met de druk en nauwelijks beïnvloed worden door de temperatuur.

De gecompenseerde sensor
Uit de reeds gepubliceerde grafieken kunt u afleiden dat de gevoeligheid van de schakeling kleiner wordt als de temperatuur stijgt. Op de een of andere manier moet dus deze gevoeligheidsdaling gecompenseerd worden. Dat zou bijvoorbeeld kunnen door de voedingsspanning van de sensor te laten stijgen als de temperatuur stijgt. Hierdoor zal de uitgangsspanning tussen de twee punten van de uitgangsdiagonaal van de brug gaan stijgen, waardoor de gevoeligheidsdaling gecompenseerd wordt.
Het meest algemene principe dat daarvoor wordt toegepast is geschetst in de onderstaande figuur. In serie met de voedingsdiagonaal van de brug wordt een silicium transistor

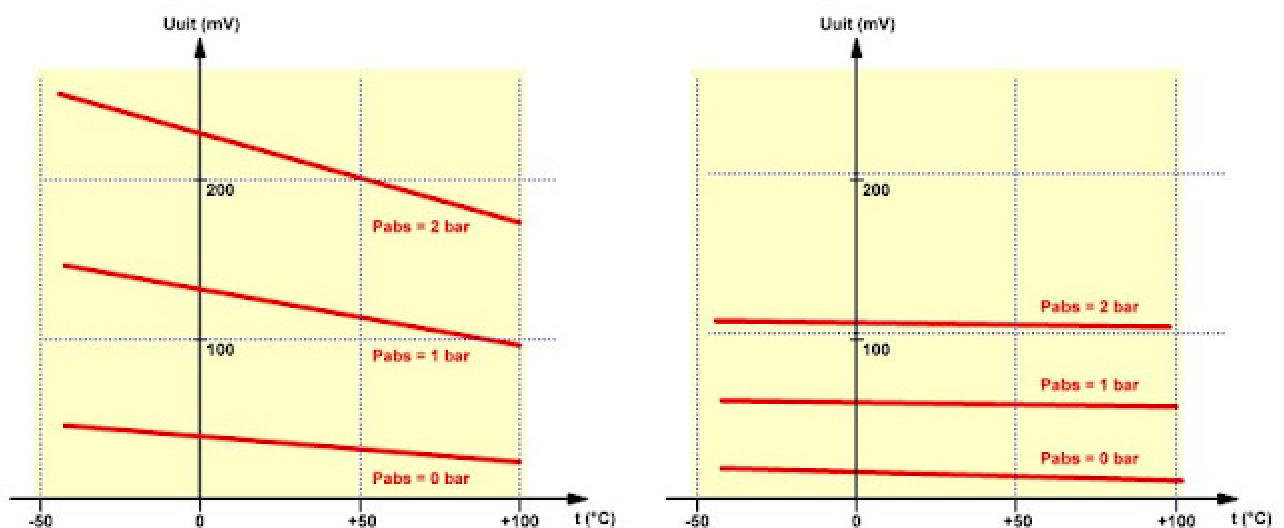
opgenomen. De basis/emitter-spanning van een silicium transistor is ook heel temperatuurgevoelig. Deze spanning stijgt als de temperatuur stijgt. De transistor is als zogenaamde *'U_{be}-vermenigvuldiger'* geschakeld. Als de temperatuur stijgt zal de basis/emitter-spanning gaan stijgen, waardoor de transistor meer gaat geleiden. Hierdoor neemt zijn inwendige weerstand af en zal er minder spanning over de halfgeleider vallen. Omdat de transistor in serie is geschakeld met de sensor betekent dit dat er bij stijgende temperatuur meer voedingsspanning beschikbaar komt voor de sensor.



Het basisschema van een gecompenseerde druksensor. (© 2019 Jos Verstraten)

Uitgebreide compensatie

In de praktijk werkt men niet met een transistor, maar met een stuk of vier. Iedere transistor is ingesteld op een ander werkpunt. Op deze manier slaagt men er in de temperatuurcoëfficiënt van de sensor met minstens een factor tien te laten dalen. In de grafieken van de onderstaande figuur wordt te temperatuurinvloed op een niet-gecompenseerde (links) vergeleken met deze op een gecompenseerde sensor (rechts).



Vergelijking van de temperatuurcoëfficiënten van een niet-gecompenseerde en van een gecompenseerde sensor.
(© 2019 Jos Verstraten)

Nadeel van de schakeling

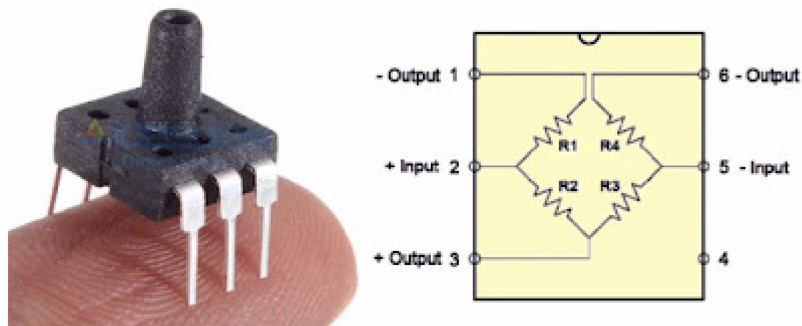
Het nadeel van de schakeling is dat de gevoeligheid van de sensor ongeveer met de helft gaat dalen bij gelijk blijvende voedingsspanning. Dit is een logisch gevolg van het feit dat de transistoren moeten ingesteld worden en dat er dus een deel van de beschikbare

voedingsspanning niet ter beschikking staat van de sensorbrug.

Goedkope en leverbare druksensoren

Opmerking
Uiteraard zijn er tientallen verschillende uitvoeringen van druksensoren in de handel. De meeste zijn ontwikkeld voor industrieel gebruik en zijn vrij prijzig. Wij beschrijven in dit artikel slechts vier goed verkrijgbare en goedkope typen, ideaal voor de hobby-elektronicus om mee te experimenteren bij het ontwerpen van bijvoorbeeld elektronische barometers.

MPS20N0040D-D
Dit is ongetwijfeld de goedkoopste ongecompenseerde druksensor die u kunt kopen. Bij sommige Chinese webshops is dit onderdeel te koop voor minder dan één euro. Het uiterlijk en het interne schema zijn voorgesteld in de onderstaande figuur.

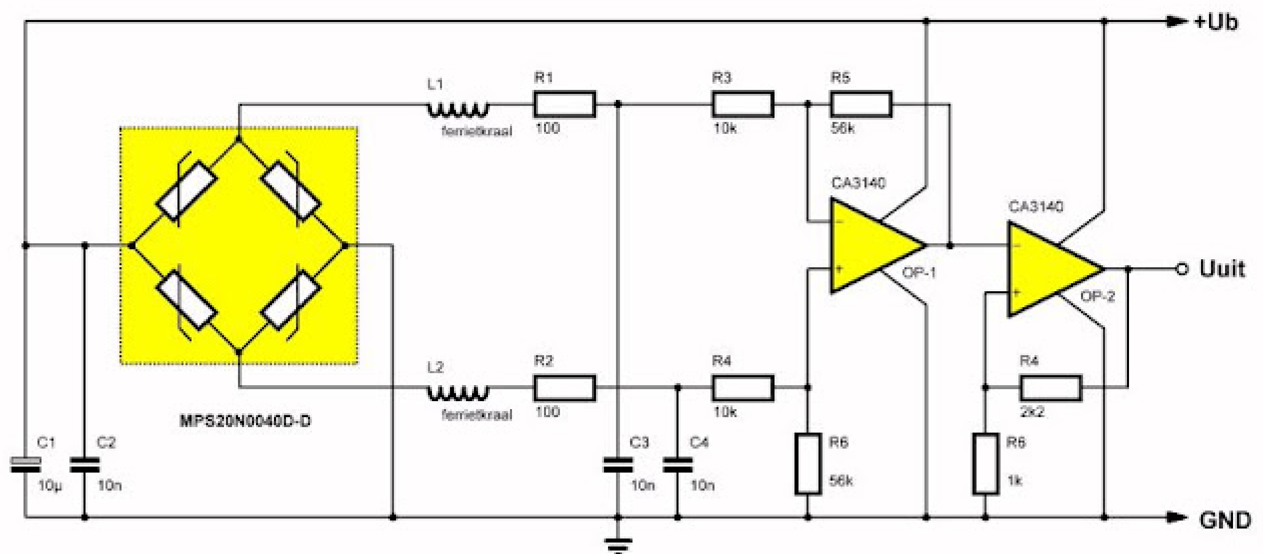


De spotgoedkope MPS20N0040D-D. (© AliExpress)

De technische gegevens van deze druksensor:

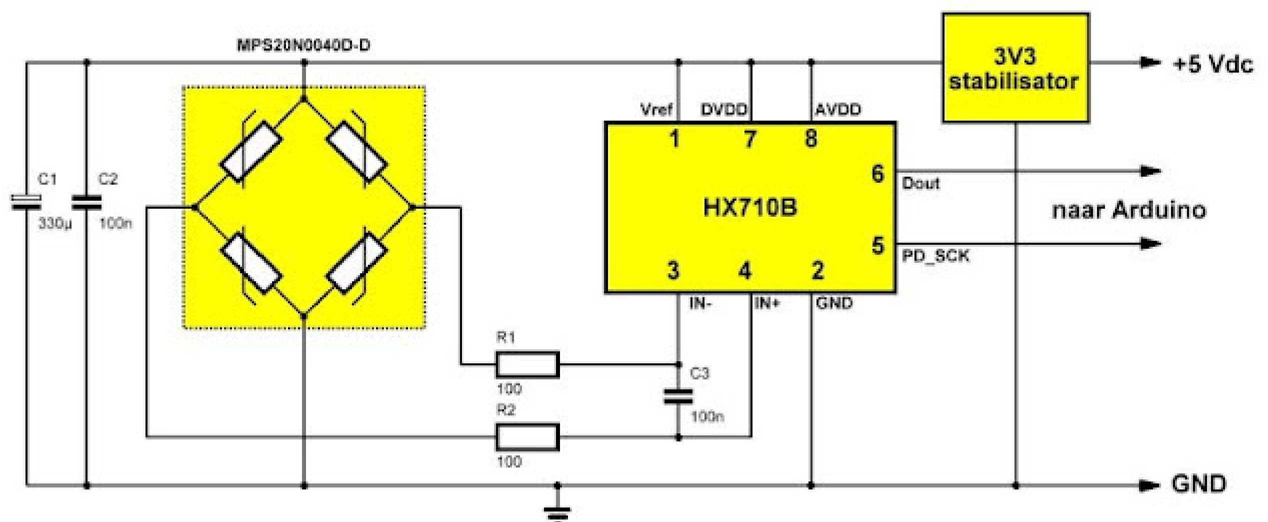
- **Meetbereik:** 40 kpa
- **Uitgang:** 50 mV ~ 100 mV
- **Voeding:** 5 V_{dc} of 1 mA
- **Lineariteit:** ±0,25 %
- **Hysteresis:** ±0,7 %
- **Temperatuurcoëfficiënt:** ±0,08 %/°C
- **Ingangsimpedantie:** 4 kΩ ~ 6 kΩ
- **Uitgangsimpedantie:** 4 kΩ ~ 6 kΩ
- **Temperatuurbereik:** -40 °C ~ +85 °C

In de onderstaande figuur is een praktisch bruikbaar schema rond deze druksensor voorgesteld. De op-amp OP-1 is geschakeld als versterkende verschilversterker. Let op dat de weerstanden R3-R4 en R5-R6 identieke waarden moeten hebben. De versterking van deze trap wordt bepaald door de onderlinge verhouding tussen deze weerstanden. Nadien volgt OP-2 die een extra versterking geeft aan het unipolaire signaal dat uit de verschilversterker komt.



Een bruikbare schakeling rond de MPS20N0040D-D. (© 2019 Jos Verstraten)

In de onderstaande figuur is een schakeling getekend, waarin de analoge uitgang van de MPS20N0040D-D wordt aangeboden aan een HX710B. Dat is een 24 bit brede seriële ADC van AVIA Semiconductor. De twee uitgangen in dit schema worden aangesloten op een in- en een uitgang van een Arduino. Eén pin wordt ingesteld als een output om te fungeren als een klok (PD_SCK) voor de ADC en één pen wordt gebruikt als een input om de gegevens van de HX710 op Dout te lezen.
De 100 Ω weerstanden tussen de uitgangen van de druksensor en de HX710B vormen samen met een 100 nF keramische condensator een filter om de storingsongevoeligheid van de schakeling te verbeteren.
De volledige schakeling wordt via een 3,3 V stabilisator gevoed uit een 5 V spanning.
Op internet zijn voldoende bronnen te vinden die de noodzakelijke code voor de Arduino ter beschikking stellen.

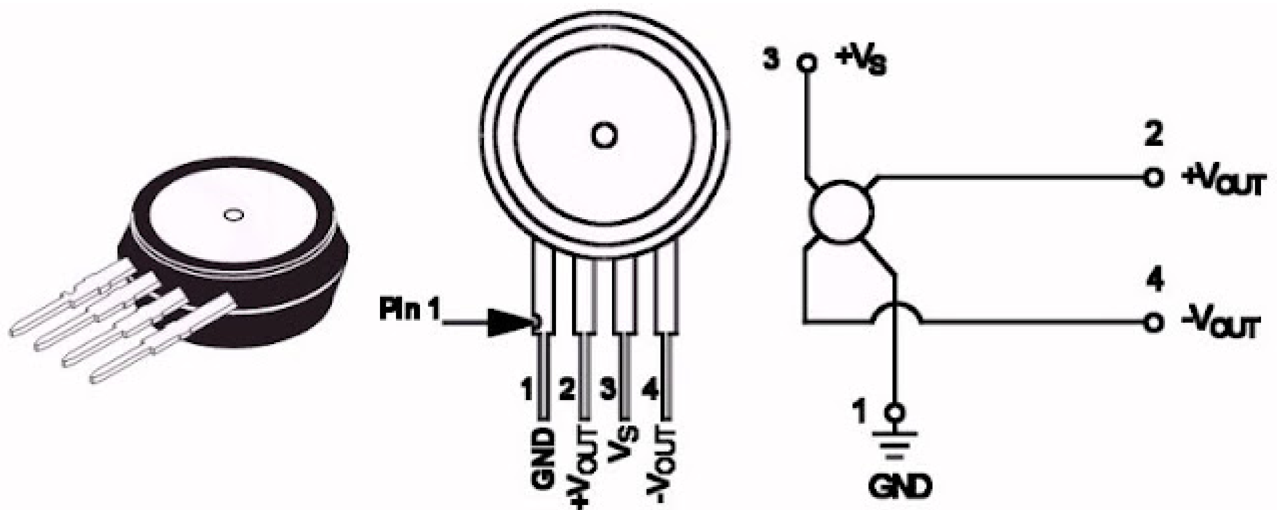


Met deze schakeling kunt u een MPS20N0040D-D aansluiten op uw Arduino. (© 2019 Jos Verstraten)

MPX53GP
Deze niet-gecompenseerde druksensor van Freescale Semiconductor kost ongeveer een tientje en levert een uitgangsspanning die recht evenredig is met de uitgeoefende druk. In de onderstaande figuur zijn het uiterlijk en de aansluitgegevens samengevat.
De technische gegevens van deze druksensor:

- **Meetbereik:** 50 kpa
- **Gevoeligheid:** 1,2 mV/kPa

- **Voeding:** 6,0 V_{dc} max.
- **Voedingsstroom:** 6,0 mA typisch
- **Lineariteit:** ±0,4 %
- **Hysteresis:** ±0,1 %
- **Temperatuurcoëfficiënt:** ±0,16 %/°C
- **Ingangsimpedantie:** 355 Ω ~ 505 kΩ
- **Uitgangsimpedantie:** 750 Ω ~ 1.875 Ω



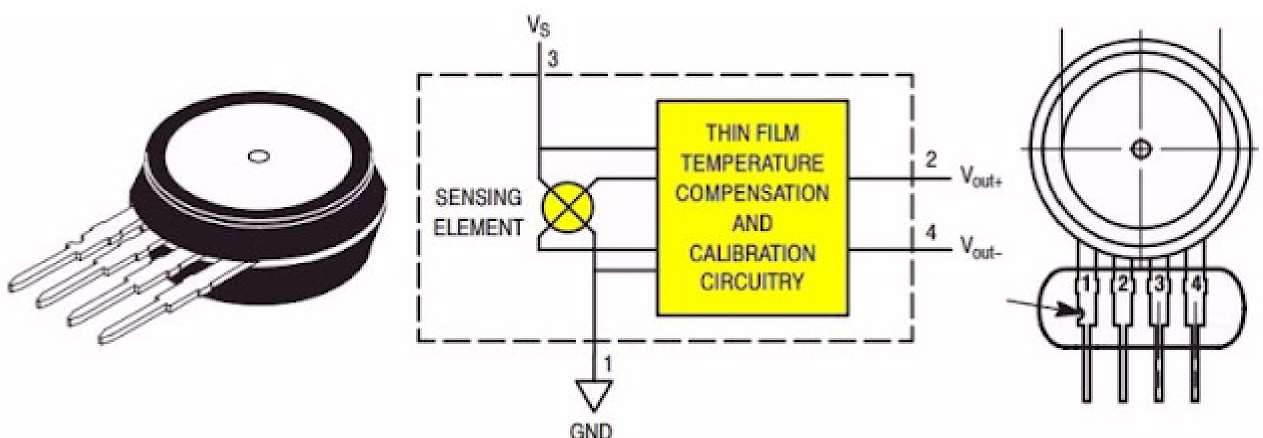
De gegevens van de MPX53GP. (© 2019 Jos Verstraten)

MPX2100AD

Deze temperatuurgecompenseerde druksensor van Motorola biedt een zeer nauwkeurige en lineaire uitgangsspanning direct evenredig aan de uitgeoefende druk. De sensor is te koop voor prijzen vanaf € 13,60.

De technische gegevens van deze druksensor:

- **Meetbereik:** 100 kpa
- **Gevoeligheid:** 0,4 mV/kPa
- **Voeding:** 16,0 V_{dc} max.
- **Voedingsstroom:** 6,0 mA typisch
- **Lineariteit:** ±0,25 %
- **Hysteresis:** ±0,1 %
- **Temperatuurcoëfficiënt:** ±0,25 %/°C
- **Ingangsimpedantie:** 1,0 kΩ ~ 2,5 kΩ
- **Uitgangsimpedantie:** 1,4 kΩ ~ 3,0 kΩ
- **Temperatuurbereik:** -40 °C ~ +85 °C



De gegevens van de MPX2100AD. (© 2019 Jos Verstraten)

MPXV7007

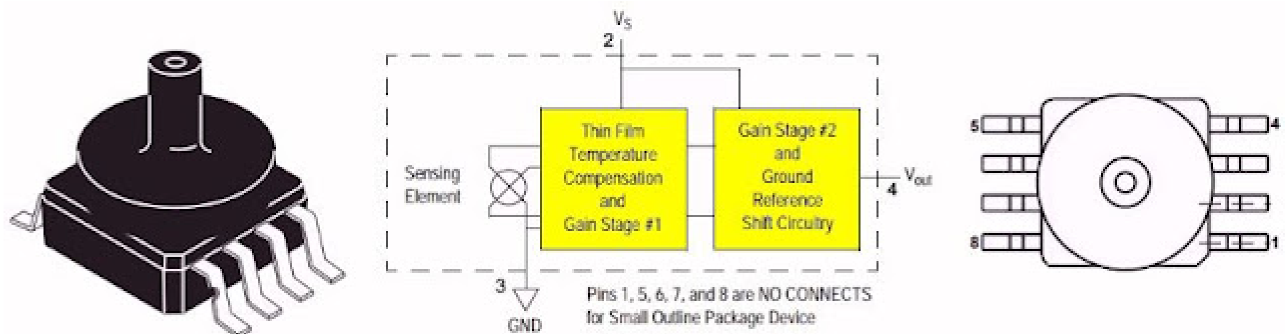
Deze druksensor van NXP Semiconductors kost ongeveer € 16,00. Deze sensor is echter niet

alleen temperatuurgecompenseerd, maar bevat alle elektronica die noodzakelijk is voor het leveren van een unipolaire en goed versterkte uitgangsspanning.
Van de acht aansluitpennetjes worden alleen de pennetjes 2, 3 en 4 gebruikt, de overigen zijn NC:

- **Pen 2:** voedingsspanning
- **Pen 3:** massa
- **Pen 4:** uitgangsspanning

De technische gegevens van deze druksensor:

- **Meetbereik:** ±7 kpa
- **Gevoeligheid:** 286 mV/kPa
- **Voeding:** 5,0 V_{dc} max.
- **Voedingsstroom:** 10,0 mA typisch
- **Nauwkeurigheid:** ±5,0 % van de volle schaal
- **Lineariteit:** ±0,25 %
- **Offset:** 0,5 V typisch
- **Temperatuurbereik:** -40 °C ~ +125 °C



De gegevens van de MPXV7007. (© 2019 Jos Verstraten)